

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

А.Г. ЖУКОВСКИЙ

В.И. ЮХНОВ

Методические указания
По выполнению практического занятия №2
по дисциплине

СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы
связи.
Профиль «Мобильная связь и интернет вещей»

Ростов-на-Дону
2022

Методические указания
по выполнению практического занятия №2
по дисциплине
Системы радиосвязи с подвижными объектами

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол от «19» декабря 2022 г., № 5.

Практическое занятие № 2

ТЕМА: СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ КЛАСТЕРА С РАСЧЕТОМ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Цель работы:

1. Закрепить теоретические знания по способам и особенностям построения кластера.
2. Изучить методику и получить практические навыки по расчету отношения сигнал/интерференция.
3. Привить навыки по эксплуатации информационных технологий, связанных с применением компьютеров при проведении расчетов.

1. Основные положения по технике безопасности

В приборах и устройствах, используемых в лабораторной установке, имеются высокие напряжения, опасные для жизни. Поэтому в процессе выполнения работы студенты должны соблюдать высокую дисциплину на занятии, точно, четко и своевременно выполнять все требования преподавателя и работников лаборатории.

Во избежание поражения электрическим током при выполнении лабораторной работы **запрещается:**

- самостоятельно включать аппаратуру;
- извлекать и вскрывать блоки лабораторных установок и измерительных приборов;
- заменять предохранители в блоках и измерительных приборах при включенной аппаратуре;
- прикасаться руками или какими-либо предметами (отвертками, оголенными концами проводов и т.п.) к зажимам и гнездам лабораторной установки и измерительных приборов.

В случае поражения электрическим током **немедленно:**

- выключить напряжение сети, освободить пострадавшего от токонесущих цепей, обеспечив собственную безопасность;
- доложить руководителю занятий о случившемся;
- оказать пострадавшему медицинскую помощь.

2. Эксплуатационные вопросы

1. Перед включением компьютера необходимо провести их внешний осмотр и подготовку к работе, обратив внимание на наличие их заземления.
2. При проведении исследований необходимо соблюдать последовательность выполнения операций, указанных в настоящем руководстве.

3. Подготовка к выполнению лабораторной работы

До прихода в лабораторию **необходимо:**

1. Повторить теоретический материал, связанный с проведением лабораторной работы.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной работы, заданием и порядком ее выполнения.
3. Уяснить идею предстоящих в работе исследований.
4. Подготовить бланк отчета.
5. Ответить на контрольные вопросы.

4. Краткие сведения из теории

4.1. Деление обслуживаемой территории на соты.

Участок территории радиопокрытия, на котором осуществляется связь в фиксированной полосе частот, схематически изображается в виде правильного шестиугольника и по сходству с пчелиными сотами получил название *соты*. В результате СМР с пространственным разнесением частот получили наименование сотовых систем мобильной связи (ССМС). Группу сот, в пределах которой отсутствует повторное использование частотных полос, называют *кластером*. Сотовая топология позволяет многократно увеличить абонентскую емкость системы по сравнению с системами радиальной структуры и охватить сколь угодно большую зону обслуживания без ухудшения качества связи и расширения выделенного частотного диапазона. Вместе с тем использование сотового принципа построения предполагает и ряд усложнений, касающихся определения текущего местоположения мобильного абонента и обеспечения непрерывности связи при перемещении его из одной соты в другую. Соответствующая процедура получила название *эстафетной передачи* (в английской транскрипции *handoff* или *handover*).

Повторное использование частот.

Высокая спектральная эффективность ССМС достигается ценой максимально частого повторного использования одних и тех же частотных полос, и с этой точки зрения наиболее предпочтительным был бы трехсотовый (или трехэлементный) кластер, изображенный на рис. 1, а, где одинаковыми цифрами обозначены соты с совпадающими наборами частотных каналов. Кроме того, каждой из сот кластера данного типа отводится частотная полоса, равная трети полного частотного диапазона, а значит, и треть общего числа каналов связи в системе, что обеспечивает значительную абонентскую емкость соты. Вместе с тем частое повторение зон с одинаковыми полосами частот характеризуется заметным уровнем соканальных помех, т.е. помех от станций системы, работающих в той же полосе частот, но расположенных в несмежных сотах. Для уменьшения влияния соканальных помех более выгодны кластеры с большим числом элементов, например 7-элементные, изображенные на рис. 1, б.

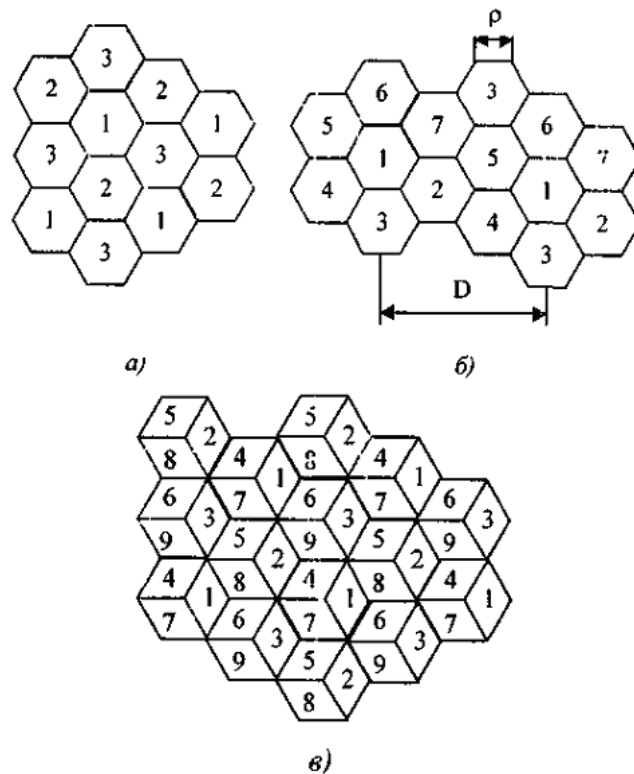


Рис. 1

Можно показать, что расстояние D между центрами ячеек, в которых используются одинаковые полосы частот, и число n_c элементов в кластере связаны соотношением

$$D = \sqrt{3n_c} \rho,$$

где ρ - радиус ячейки, т.е. радиус окружности, описанной вокруг правильного шестиугольника. Параметр ξ , определяемый соотношением

$$\xi = \frac{D}{\rho} = \sqrt{3n_c},$$

называют *коэффициентом уменьшения соканальных помех* или *коэффициентом соканального повторения*. Для величины $\eta = 1/n_c$ употребляют наименование *коэффициент эффективности повторного использования частот* или *коэффициент повторного использования частот*. Увеличение числа элементов в кластере, благоприятно сказывающееся на уровне соканальных помех, приводит к пропорциональному уменьшению полосы частот, которая может быть использована в каждой соте, а значит, к снижению абонентской емкости соты.

Рассмотренные структуры кластеров предполагают использование на базовых станциях антенн с круговой диаграммой направленности, осуществляющих передачу сигнала по всем направлениям с одинаковой мощностью. Эффективным способом снижения соканальных помех является применение направленных (в горизонтальной плоскости) антенн с шириной диаграммы направленности 120 или 60°, в результате чего шестиугольная ячейка разбивается на 3 или 6 секторов, т.е. производится *секторизация сот*. В секторе

сигнал излучается антенной только в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Таким образом, секторизация сот позволяет чаще использовать одинаковые полосы частот в кластерах без изменения их структуры либо в рамках прежней схемы повторения частот заметно снизить уровень соканальных помех. Если кластер состоит из n_c сот, каждая из которых содержит m_c секторов, то говорят, что размерность кластера ($n_c, n_c \times m_c$). Типичными размерностями кластеров, широко применяемых на практике, являются (3,9), (4,12), (7,21). На рис. 1, в приведен возможный вариант распределения наборов частотных каналов в секторизованном кластере размерности (3,9). Отметим, что разработка топологии ССМС является своеобразной и достаточно сложной задачей.

4.2. Состав системы сотовой связи.

Хотя сотовые системы разных стандартов имеют значительные отличия в деталях, интегральное их описание с помощью некоторой обобщенной модели возможно и полезно. В качестве подобного обобщения выберем схему ССМС, приближенную к стандарту GSM, как наиболее отчетливо структурированную. Функциональное построение ССМС иллюстрируется схемой на рис. 2. В приведенной схеме условно можно выделить четыре основных компонента - центр управления и обслуживания (ЦУО) (иначе *operations and maintenance center- OMC*) и три подсистемы:

- подсистема мобильных станций ПМС (*mobile station subsystem MSS*);
- подсистема базовых станций ПБС (*base station subsystem BSS*);
- подсистема коммутации ПК (*switching subsystem SSS*), -функциональное сопряжение которых описывается рядом интерфейсов.

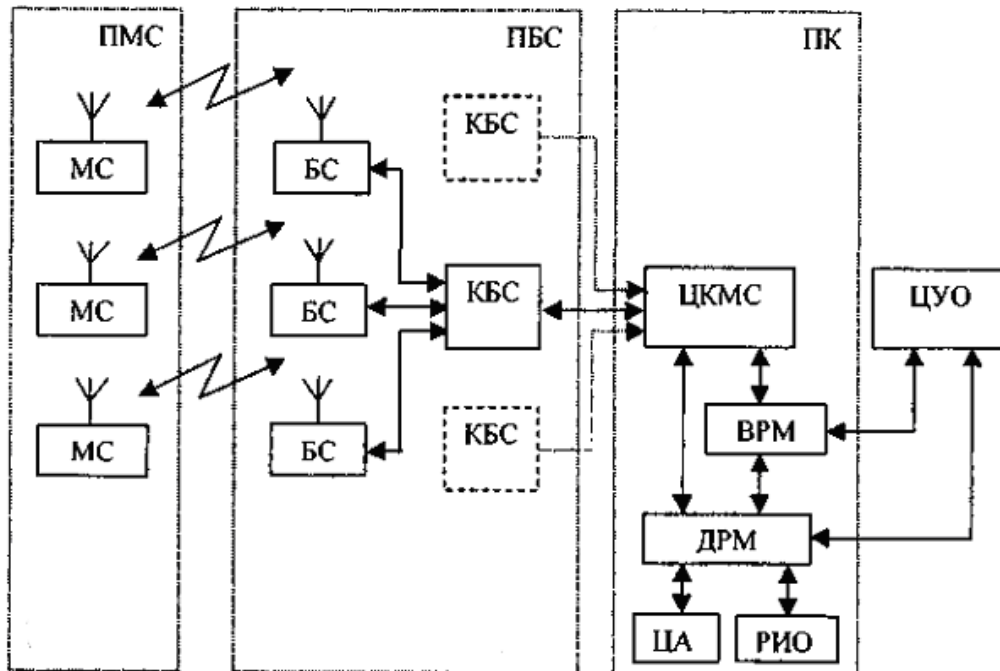


Рис. 2

ЦУО является центральным элементом ССМС, который обеспечивает управление другими компонентами системы, а также контроль качества функционирования. Подсистема мобильных станций объединяет оборудование, обеспечивающее доступ абонентов в систему, главным звеном в архитектуре ССМС является подсистема коммутации, которая включает в себя центр коммутации мобильной связи ЦКМС (*mobile switching center MSC*), визитный (гостевой) регистр местоположения ВРМ (*visited location register VLR*), домашний регистр местоположения ДРМ (*home location register HLR*), центр аутентификации ЦА (*authentication center AUC*) и регистр идентификации оборудования РИО (*equipment identity register EIR*). В подсистему базовых станций входят базовые приемо-передающие станции БС (*base transceiver station BTS*) и контроллеры базовых станций КБС (*base station controller BSC*).

Центр коммутации мобильной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы мобильная станция, т.е. коммутацию мобильных абонентов друг с другом, с абонентом ТФОП и др. На ЦКМС возлагаются также функции коммутации каналов, к которым относятся "передача обслуживания" (или "эстафетная передача") и переключение каналов в соте при появлении сильных помех и неисправностей, если только это не является обязанностью КБС. Помимо коммутационных задач ЦКМС, управляет процедурами слежения за мобильными станциями с помощью домашнего и визитного регистров местоположения для обеспечения доставки вызова, а также процедурами аутентификации и идентификации абонентов с помощью ЦА и РИО.

Блоки ДРМ и ВРМ по своей сути представляют собой базы данных. Первый содержит сведения о постоянно приписанных к данному ЦКМС абонентах и о видах услуг, которые им могут быть оказаны, второй содержит информацию об абонентах, временно находящихся в зоне обслуживания данного ЦКМС. Центр аутентификации обеспечивает возможность проведения процедуры аутентификации абонентов и шифрования передаваемых сообщений, РИО содержит сведения об эксплуатируемых мобильных станциях на предмет их исправности и санкционированного использования.

Контроллер базовых станций осуществляет управление несколькими БС, которые обеспечивают связь с МС через радиointерфейс, а также производит упаковку информации, передаваемой в ЦКМС, и ее распаковку при передаче в обратном направлении. К числу операций, производимых КБС, относятся передача обслуживания при переходе МС между сотами, контролируемыми одним и тем же КБС, передача вызовов между МС, находящимися в зонах действия разных БС, но одного и того же контроллера (в противном случае первичное управление возлагается на ЦКМС). Под управлением КБС осуществляются радиоизмерения в каналах связи, регулируется мощность передатчиков мобильных и базовых станций.

5. Расчет отношения сигнал - интерференция

В теоретической части были рассмотрены принципы построения кластера для однородных моделей. В этих моделях антенны БС - ненаправленные, расстояние между БС с одинаковой частотой

$$D = \sqrt{3N} \cdot R_0, \quad (1)$$

где R_0 - радиус соты, N - размерность кластера.

$$q = \sqrt{3N} = \frac{D}{R_0}, \quad (2)$$

где q – коэффициент уменьшения соканальных помех.

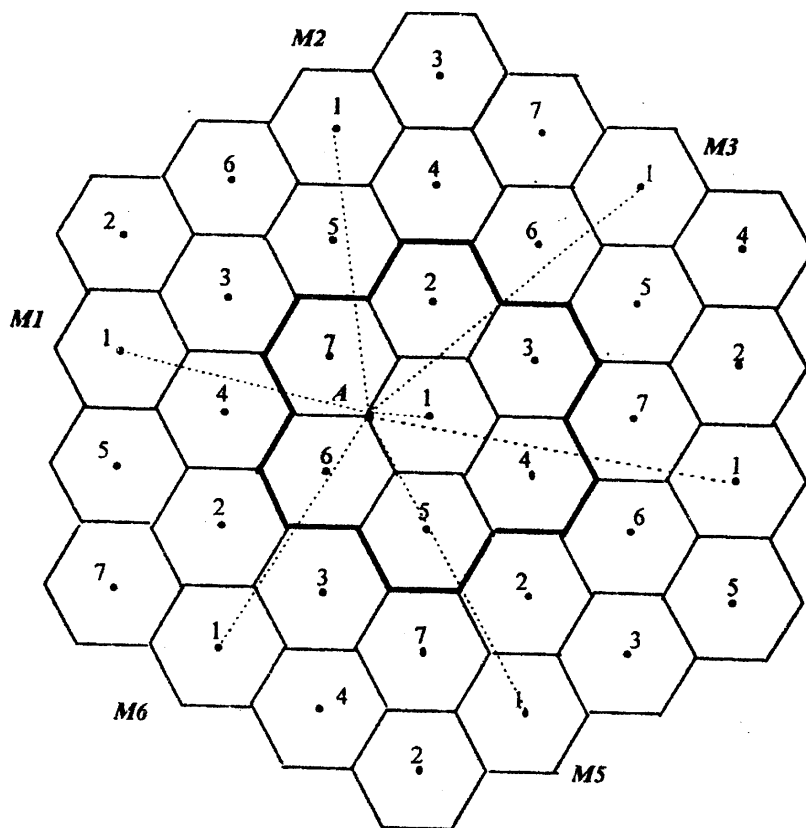


Рис.1

На рис. 1 приведен кластер при $N=7$ и пунктиром показаны пути шести мешающих сигналов при всенаправленных антеннах БС. Мешающие станции обозначены M1-M6. Расстояние от точки A до MC с номером J обозначим R_j ,

Для вычисления R_j , используем упрощенный рис. 2, аналогичный рис. 1. На рис. 2 обозначено местоположение БС - точка O, MC - точка A и местоположение мешающих станций M1...M6.

Длины отрезков M1-O, M2-O, ...M6-O равны D. Радиус внутренней окружности OA - радиус соты R_0 . Очевидно, длина M1-A равна расстоянию до M1, длина M2-A равна расстоянию до M2 и т.д.

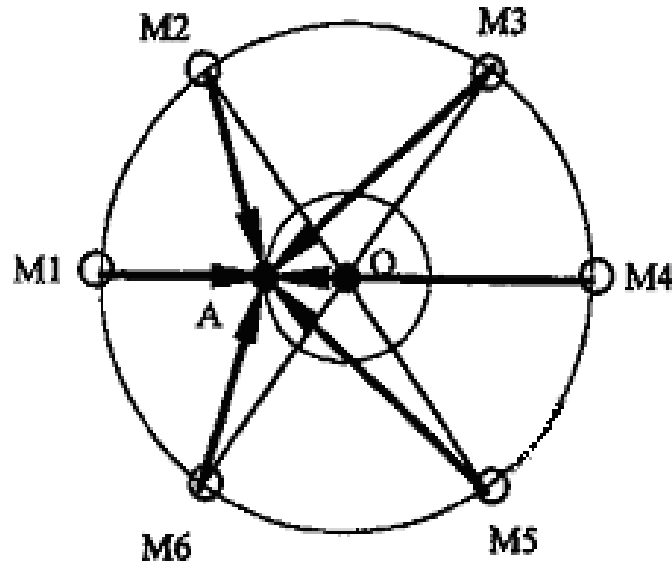


Рис.2

По рис.2 определяем

$$R_1 = D - R_0; \quad R_2 = \sqrt{D^2 + R_0^2 - DR_0}; \quad R_3 = \sqrt{D^2 + R_0^2 + DR_0}$$

Подставив сюда (1) и (2), запишем:

$$R_1 = (q - 1)R_0; \quad (3, а)$$

$$R_2 = \left(\sqrt{q^2 - q + 1} \right) R_0; \quad (3, б)$$

$$R_3 = \left(\sqrt{q^2 + q + 1} \right) R_0 \quad (3, в)$$

$$R_4 = (q + 1)R_0 \quad (3, г)$$

$$R_5 = R_3 \quad (3, д)$$

$$R_6 = R_2 \quad (3, е)$$

Мощности сигналов, приходящих на МС представим в виде

$$P_c = K_o R^{-n},$$

приняв $R = R_0$ для своего сигнала и $R = R_J$ для J -ого мешающего сигнала

Если энергетические параметры БС в сети одинаковы, то отношение медианной мощности J -ого мешающего к медианной мощности своего сигнала

$$\beta_J = \left(R_J / R_0 \right)^{-n}, \quad (4)$$

при значениях n , указанных выше (например, $n = 2$; 3 или 4).

При нескольких мешающих сигналах на МС воздействует суммарная помеха, медианная мощность которой равна сумме медианных мощностей отдельных

сигналов. Медианное отношение сигнал- интерференция

$$SIR = -10\lg\left(\sum_{j=1}^m \beta_j\right) = 10\lg\left(\frac{R_0^{-n}}{\sum_{j=1}^m R_j^{-n}}\right), \text{ дБ} \quad (5)$$

где m - число мешающих сигналов.

По (5) можно найти усредненное медианное отношение сигнал-интерференция. Замирания сигналов не учтены.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Нарисовать кластер заданной размерности N и составить частотный план для однородной модели кластера со всенаправленными антеннами БС для конкретного стандарта.

3. Рассчитать расстояние между БС с одинаковыми частотами при заданных N и радиусе соты R_0

4. Для этой же модели кластера рассчитать медианное значение SIR, для нескольких кластеров при N=3, 7, 13, 19, 21.

6. Принять N=3 в заданиях с нечетными номерами и N=7 - с четными.

В отчете записать:

- расчетные формулы для определения параметров
- численные значения входящих величин и их размерность
- результаты расчета
- требуемые чертежи и рисунки
- комментарии.

Исходные данные для расчетов даны в **таблице 1** Индивидуальный номер задания M определяется по двум последним цифрам номера студенческого билета YZ: $M = YZ - 15k$, $k = 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6$. Например, если номер студенческого билета заканчивается цифрами 97, то $M = 97 - 15 \times 6 = 7$.

Таблица 1 – Варианты расчета

Вариант	R_0 , км
1	2
2	5
3	7
4	10
5	25
6	3
7	6
8	8
9	12

10	30
11	4
12	9
13	10
14	15
15	25

7. Контрольные вопросы

1. Что называется кластером? Размерность кластера.
2. Принцип построения сети сотовой связи.
3. Каким образом можно уменьшить уровень внутрисистемных помех.
4. Как зависит уровень помех от соседних сот при увеличении размерности кластера, при увеличении радиуса соты?
5. Что такое SIR?
6. Для чего используется секторизация сот и как в этом случае обозначается размерность кластера?
7. Перечислите виды помех в сотовой связи.

8. Литература

Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов / В. П. Ипатов, В. К. Орлов, И. М. Самойлов, В. Н. Смирнов; под. ред. В.П. Ипатова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2003. - 272 с.

Андрианов В. И., Соколов А. В. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи. — СПб.:БХВ-Петербург; Арлит. 2001. — 400 с.: ил.

Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 2 - Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г. П., Мам-чев Г. В., Попантонопуло В. Н., В. П. Шувалов; под ред. профессора В. П. Шувалова. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004.-672 с.: ил.

Дьяконов В.П., Смердов В.Ю. Мобильные телефоны и коммуникаторы. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003 – 384 с

Маковеева М.М. Системы радиосвязи с подвижными объектами. М.: Московский технический университет связи и информатики. Методическое пособие. 2002. 60 с.